Offre de stage Master 2

Analyse probabiliste et quantification des incertitudes d'un modèle de rencontre entre navires et grands cétacés

Organisme d'accueil : La Rochelle Université

Domaine : Mathématiques appliquées, statistiques, modélisation — écologie marine

Durée : 6 mois

Période : février–septembre 2027 (adaptable)

Lieu : CMAP polytechnique (Palaiseau) ou Banulsdesign (Larmor-Baden), selon le profil et les disponibilités

Gratification : au taux légal en vigueur, revalorisé chaque année en janvier

Encadrement : Auriane Virgili (Share The Ocean), Olivier Le Maître (CMAP polytechnique), Renaud Bañuls (Banulsdesign), Matthieu Authier (La Rochelle Université)

Candidature : CV + lettre de motivation à auriane@sharetheocean.earth, renaud@sharetheocean.earth, olivier.le-maitre@polytechnique.edu, matthieu.authier@univ-lr.fr

---

Contexte scientifique

Les collisions entre navires et grands cétacés constituent une menace majeure, encore largement sous-documentée, pour plusieurs espèces. L'évaluation quantitative de ce risque repose notamment sur la capacité à modéliser les rencontres potentielles entre les navires et les animaux, à partir de leurs distributions spatiales, de leurs caractéristiques et de leurs trajectoires maritimes.

Un premier modèle probabiliste de rencontre a été développé et appliqué au contexte de la course au large (Virgili et al., 2026, *Scientific Reports*), où les caractéristiques des navires et leurs routes sont connues ou relativement prévisibles.

L'objectif du stage est d'approfondir les fondements mathématiques et statistiques de ce modèle, d'en caractériser les conditions de validité et d'en améliorer la robustesse face aux incertitudes affectant les données d'entrée. À plus long terme, ces développements doivent permettre d'appliquer le modèle à des contextes de navigation plus diversifiés.

Objectifs et missions

1. Analyse mathématique et validation de la formulation probabiliste

Le premier objectif consiste à examiner les fondements théoriques du modèle de rencontre existant et à en évaluer la cohérence.

Le travail portera notamment sur l'explicitation des hypothèses probabilistes sous-jacentes : la représentation de la distribution spatiale des cétacés, l'indépendance des événements, l'homogénéité locale des densités, ainsi que la prise en compte des dimensions et des mouvements relatifs.

Une attention particulière sera portée à l'estimation du nombre moyen de rencontres à partir des densités spatiales et des trajectoires, ainsi qu'aux hypothèses probabilistes permettant d'en déduire la probabilité d'au moins une rencontre, notamment dans le cadre d'un modèle de Poisson.

L'analyse s'appuiera sur des cas théoriques simplifiés, des études de sensibilité et des comparaisons avec d'autres formulations issues de la théorie des processus ponctuels spatiaux et des modèles de rencontre.

Un approfondissement possible porterait sur les hypothèses de distribution de Poisson, fréquemment utilisées pour modéliser le nombre de rencontres. Il s'agira notamment d'examiner dans quelle mesure les phénomènes d'agrégation spatiale des animaux peuvent remettre en cause ces hypothèses et modifier les probabilités de rencontre. Selon les résultats de cette analyse, des formulations alternatives permettant de représenter une variabilité accrue du nombre de rencontres pourront être discutées, voire testées sur des cas simplifiés.

2. Quantification et propagation des incertitudes

Le deuxième objectif vise à développer un cadre probabiliste permettant de prendre explicitement en compte les incertitudes affectant les paramètres et les données d'entrée du modèle.

Ces incertitudes concernent notamment les estimations spatiales de la densité des cétacés, les paramètres comportementaux, les dimensions des animaux et les caractéristiques des navires.

Le travail consistera à proposer des représentations statistiques adaptées à ces différentes sources d'incertitude et à étudier leur propagation dans le modèle. Plusieurs stratégies pourront être envisagées : des approximations analytiques, des méthodes de Monte Carlo ou des approches bayésiennes, selon la structure du problème et les données disponibles. L'objectif sera d'obtenir des estimations du risque de rencontre accompagnées d'intervalles d'incertitude.

Une attention particulière pourra être accordée à la structure spatiale des incertitudes relatives aux densités de cétacés. En effet, les coefficients de variation associés aux estimations locales ne permettent pas, à eux seuls, de caractériser l'incertitude sur le risque cumulé le long d'une trajectoire. La corrélation spatiale des erreurs d'estimation peut avoir une influence significative sur cette incertitude. Le stage pourra ainsi examiner, dans un cadre simplifié, l'effet de différentes hypothèses de corrélation spatiale sur les résultats, sans nécessairement chercher à reconstruire un modèle statistique spatial complet.

Enfin, une analyse de sensibilité permettra de hiérarchiser les principales sources d'incertitude et d'identifier les paramètres dont une meilleure connaissance contribuerait le plus à la fiabilité des prédictions.

3. Extension à différentes catégories de navires — volet exploratoire

Dans un troisième temps, selon l'avancement du stage, les développements précédents pourront être exploités pour étudier la transposabilité du modèle à d'autres catégories de navires, notamment les navires commerciaux et les ferries.

À partir de données de trajectoires AIS, il s'agira d'identifier les adaptations nécessaires pour tenir compte de la diversité des vitesses, des dimensions, des comportements de navigation et de l'exposition spatiale au risque.

Cette étude permettra de préciser le domaine de validité du modèle et d'identifier les principales difficultés scientifiques associées à sa généralisation.

Résultats attendus

Le stage devra aboutir à une analyse critique et documentée de la formulation mathématique du modèle, ainsi qu'à la mise en place d'une méthodologie de quantification et de propagation des incertitudes.

Les résultats attendus comprennent notamment une évaluation de la sensibilité du modèle à ses principales hypothèses et aux incertitudes des données d'entrée. Selon l'avancement des travaux, des analyses complémentaires pourront porter sur les effets de l'agrégation spatiale des cétacés, la corrélation spatiale des incertitudes ou la transposition du modèle à d'autres catégories de navires.

L'ensemble contribuera à consolider les fondements scientifiques d'un outil de quantification du risque de rencontre, destiné à accompagner l'évaluation et la réduction des risques de collision entre navires et grands cétacés.

Profil recherché

- Étudiant·e en Master 2 (ou dernière année d'école d'ingénieur) en mathématiques appliquées, statistiques ou modélisation.
- Bases solides en probabilités, statistiques et modélisation stochastique ; une première expérience en quantification ou en propagation d'incertitudes est un plus.
- Maîtrise de langages de programmation (R, Python, C++).
- Goût pour l'interdisciplinarité, la résolution de problèmes concrets, l'autonomie et la rigueur.
- Aucune connaissance préalable du milieu marin n'est requise.

Compétences développées

- Modélisation et analyse mathématiques appliquées à un problème réel de conservation.
- Quantification et propagation d'incertitudes, analyse de sensibilité.
- Interface entre mathématiques, statistiques et écologie ; communication de résultats scientifiques.

Candidature

Envoyer un CV et une lettre de motivation à auriane@sharetheocean.earth, renaud@sharetheocean.earth, olivier.le-maitre@polytechnique.edu, matthieu.authier@univ-lr.fr. Les candidatures sont examinées au fil de l'eau, jusqu'à ce que le stage soit pourvu.